

KARAKTERISASI MEMBRAN PERPAVORASI BERBASIS GEOPOLIMER-GRAPHENE-TIO₂ UNTUK DESALINASI AIR LAUT

Ummi Kalsum H. Said¹, S. Subaer², Nurhayati³

^{1,2,3}Universitas Negeri Makassar

ummikalsulm02@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini berfokus pada pembuatan pasta geopolimer yang disintesis dari metakaolin, grafena dan TiO₂ sebagai membrane untuk desalinasi air laut. Geopolimer dibuat dengan bahan dasar metakaolin dengan metode aktivasi alkali dengan penambahan variasi 0 gram, 0,5 gram, dan 1 gram grafena serta 3 gram TiO₂. Metode yang berhasil digunakan untuk mensintesis Graphene adalah metode chemical exfoliation, yang menghasilkan fase amorf berdasarkan hasil XRD Graphene, terdapat gugus fungsi aromatik C=C, ikatan O-H (gugus hidroksil), gugus karonil dan alkoksi berdasarkan hasil FTIR grafena. Dari hasil SEM dan Raman, Graphene terdiri dari banyak lapisan karbon yang menandakan grafena bersifat multilayer. Membran berbasis Geopolimer- grafena -TiO₂ dibuat dengan cara mencampurkan grafena dan TiO₂ kedalam pasta geopolimer lalu diaduk secara merata dan setelah itu di curing pada suhu 70oC. Membran disimpan selama ± 28 hari sebelum dikarakterisasi. Hasil karkterisasi XRD, membrane memiliki struktur amorf dengan beberapa fase kristal, puncak yang dihasilkan dari difraktogram mengalami sedikit pergeseran ke arah 2θ yang lebih rendah. Karakterisasi Fourier Transform Infrared (FTIR) mengkonfirmasi adanya pergeseran beberapa gugus fungsi seiring dengan penambahan grafena dan TiO₂. Permukaan sampel menampilkan distribusi partikel dan cacat yang terjadi pada sampel seperti adanya pori, endapan alkali dan retakan pada sampel berdasarkan hasil SEM. Karakterisasi SEM-EDS pada sampel Geo- grafena - TiO₂ terdapat unsur Karbon (C) yang menandakan kehadiran grafena dalam sampel geopolimer. Adanya grafena dan TiO₂ berdampak langsung pada sifat fisis yang ditandai dengan meningkatnya porositas dan sifat hidrofobiknya.

Kata Kunci: Membran, Desalinasi, Perpavorasi, Geopolimer, Grafena, Mikrostruktur, Sifat Fisis.

ABSTRACT

This study focuses on the fabrication of a geopolimer paste synthesized from metakaolin, graphene, and TiO₂ for use as a seawater desalination membrane. The geopolimer was prepared using metakaolin via an alkali activation method, incorporating varying amounts of graphene (0 g, 0.5 g, and 1 g) and a fixed amount of TiO₂ (3 g). Chemical exfoliation was

successfully employed to synthesize the graphene; XRD analysis revealed an amorphous phase, while FTIR analysis identified aromatic C=C functional groups, O-H bonds (hydroxyl groups), and carbonyl and alkoxy groups. SEM and Raman results indicated that the graphene consisted of multiple carbon layers, confirming its multilayer nature. The geopolymer-graphene-TiO₂ membrane was fabricated by mixing graphene and TiO₂ into the geopolymer paste, stirring until homogeneous, and subsequently curing the mixture at 70°C. The membrane was stored for approximately 28 days prior to characterization. XRD analysis showed that the membrane possessed an amorphous structure with some crystalline phases, and the peaks in the diffractogram exhibited a slight shift toward lower 2θ values. FTIR characterization confirmed shifts in several functional groups corresponding to the addition of graphene and TiO₂. SEM analysis revealed the surface morphology, including particle distribution and structural defects such as pores, alkali deposits, and cracks. SEM-EDS analysis of the geopolymer-graphene-TiO₂ sample detected carbon (C), confirming the presence of graphene within the geopolymer matrix. The incorporation of graphene and TiO₂ directly influenced the physical properties, resulting in increased porosity and enhanced hydrophobicity.

Keywords: Membrane, Desalination, Pervaporation, Geopolymer, Graphene, Microstructure, Physical Properties.

A. PENDAHULUAN

Sumber daya alam di Indonesia yang paling banyak adalah laut. Laut memiliki kandungan garam yang tinggi. Kandungan garam pada air laut menyebabkan masih kurang pemanfaatannya (Harling, 2020). Maka solusi utama adalah proses desalinasi, yaitu mengubah air laut atau air asin menjadi air tawar melalui berbagai metode teknologi seperti membrane, adsorpsi dan desalinasi termal (Prihatiningtyas, et al., 2020).

Selain proses desalinasi termal, untuk mengurangi tingkat kandungan garam dalam air digunakan metode adsorpsi. Adsorpsi yaitu suatu proses yang melibatkan penempelan molekul atau partikel dipermukaan zat penyerap untuk membentuk lapisan tipis. Pemisahan zat terlarut juga dapat dilakukan melalui penggunaan membran (Caroline, et al., 2017). Membran adalah sebuah perangkat pemisahan yang berfungsi sebagai penghalang selektif. Mampu memisahkan dua fase dari beragam campuran dengan menggunakan tahap perpavorasi yang dimana senyawa cair melewati membran dan mengalami perubahan fase menjadi uap. (Djana, M., & Mayasari, R., 2017).

Salah satu jenis membran yang unggul digunakan, khususnya pada desalinasi air laut adalah membran berbasis geopolimer, grafena, TiO₂ (Subaer, et al., 2022). Geopolimer merupakan suatu bahan polimer yang tahan terhadap suhu tinggi dan memiliki sifat mekanik

yang baik (*Singh, N.B., 2018*). Geopolimer adalah suatu polimer yang terbentuk dari reaksi polikondensasi aluminosilikat dan alkali yang bersifat anorganik (*Almutairi, et. al., 2021*). Geopolimer dapat dibuat dari berbagai bahan dasar material. Bahan dasar untuk pembuatan geopolimer adalah metakaolin, fly ash, dan slag (*Akifah, et al., 2017*). Metakaolin diperoleh dari bahan dasar kaolin. Kaolin adalah salah satu jenis lempung yang berwarna putih yang merupakan material batuan yang kaya akan kaolinit, dan material yang murni (*Purbasari & Samadhi, 2021*).

Grafena adalah materi dua dimensi yang tersusun dari satu lapisan atom karbon yang membentuk struktur heksagonal, memiliki keunggulan seperti kekuatan mekanik tinggi, tipis, stabilitas yang kuat, laju aliran yang tinggi, efisiensi energi yang tinggi, konduktivitas listrik, dan kemampuan sebagai penghalang molekuler (*Subaer et al., 2021*). Titanium dioksida berpotensi untuk diaktivasi sebagai fotokatalis melalui pemanfaatan energi cahaya (*Fatmawati, et al., 2019*). TiO_2 memberikan keunggulan tambahan dalam membran karena memiliki sifat fotokatalitik yang dapat mengurangi fouling (penyumbatan) pada membran. Kombinasi material-material tersebut dalam struktur membran berpotensi meningkatkan kinerja membran dalam desalinasi air (*Subaer et al., 2021*). Titanium dioksida (TiO_2) jika di tambahkan ke geopolimer tidak mempengaruhi sifat amorf geopolimer tersebut, namun menambah intensitas fasenya (*Akifah, et.al., 2017*).

Berdasarkan hal ini, maka peneliti tertarik untuk melakukan penelitian tentang struktur, sifat fisis dan sifat hidrofobik dari membrane perpavorasi berbasis geopolymer-grafena- TiO_2 .

B. METODE PENELITIAN

1. Synthesis of Graphene

Grafena disintesis dari grafit komersial dengan menggunakan metode chemical exfoliation, yang dilakukan dengan mencampurkan 1 gr grafit dengan 0.5 gr NaNO_3 , kemudian di stirrer selama 1 menit. Setelah itu, H_2SO_4 yang telah didinginkan semalaman dimasukkan ke dalam campuran tersebut sambil di stirrer selama 30 menit. Lalu 3 gr KMnO_4 ditambahkan ke dalam campuran hingga campuran perlahan berubah warna menjadi kuning kehijau-hijauan. Setelah suhu campuran normal, 150 mL Aquades dan 10 mL H_2O_2 dimasukkan ke dalam campuran. Kemudian campuran tersebut dicuci dengan menambahkan 5 mL HCl dan 100 mL Aquades, lalu disaring dan dipisahkan serpihan berwarna hitam, pencucian ini dilakukan beberapa kali. Serpihan Grafena yang telah diperoleh kemudian di masukkan ke dalam microwave 450 watt selama 2 menit.

Grafena kemudian di masukkan ke dalam wadah tertutup dan didiamkan selama 12 jam, kemudian di cuci sebanyak 3 kali dengan menggunakan campuran Aquades dan Etanol, kemudian dikeringkan pada suhu 80°C.

2. Synthesis of Geopolymer-Graphene-TiO₂

Pembuatan pasta geopolymer-grafena-TiO₂ dibuat dengan menimbang Sodium Silikat (Na₂SiO₃), Natrium Hidroksida (NaOH), dan aquades (H₂O) sesuai komposisi. Mencampurkan H₂O dan NaOH terlebih dahulu (didinginkan). Setelah suhu larutan < 30°C menambahkan sodium silikat (Na₂SiO₃) dan aduk hingga larutan homogen. Dinginkan larutan alkali. Menimbang metakaolin, TiO₂ dan grafena, kemudian mencampurkan larutan alkali pada metakaolin sedikit demi sedikit hingga diperoleh campuran pasta yang homogen. Mencampurkan TiO₂ dan grafena sesuai komposisi ke dalam pasta geopolimer. Mencetak pasta geopolimer pada cetakan yang sudah disiapkan. Lalu curing selama 2 jam pada suhu 70°C. Melepaskan sampel yang telah dicetak setelah berusia 1 hari dari cetakan. Menyimpan sampel pada suhu ruang selama 28 hari hingga mencapai ikatan polimerisasi yang lebih lengkap dan sampel siap dikarakterisasi.

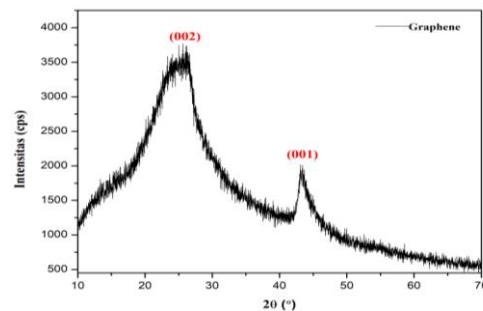
3. Characterization

Hasil sintesis grafena dan membran geopolymer-grafena-TiO₂ kemudian dikarakterisasi dengan XRD untuk menentukan fase senyawa dan struktur kristal, mengetahui gugus fungsi, dan mengidentifikasi senyawa membran menggunakan FTIR. Morfologi pada sampel dapat ditentukan dengan SEM, kualitas sampel dan ikatan Sp yang terbentuk maka dikarakterisasi menggunakan Raman Spectroscopy. nilai kerapatan pada massa benda dan berapa persen pori yang dihasilkan menggunakan pengujian Massa jenis dan Porositas. Serta sifat hidrofobic ataupun sifat hidrofilic pada membran menggunakan sudut kontak.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Bahan dasar pembuatan membrane

a. Struktur Kristal

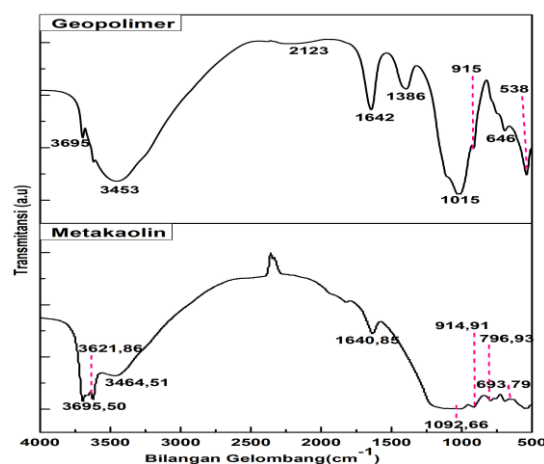


Gambar 1 Difraktogram Grafena

Gambar 1 menunjukkan hasil Difraktogram dari grafena, dimana diperoleh bidang kristal hkl (002) dengan sudut $2\theta = 26,43^\circ$ dan bidang (001) dengan sudut $2\theta = 43, 23^\circ$ ini sesuai dengan ICDD 00-041-1487. Dari hasil difraktogram menunjukkan adanya 2 puncak yang memiliki fase amorf. Struktur kristal grafena terdiri dari 2 puncak yang memiliki fase amorf pada grafena, hal ini disebabkan oleh reaksi kimia selama proses sintesis. Seperti Asam Sulfat, NaNO_3 , KMnO_4 , dan Hidrogen Peroksida, serta pengaruh pemanasan. Bahan kimia tersebut menyebabkan pengelupasan lapisan atomik karbon dan cacat struktural, sehingga grafena menjadi amorf (Wazir & Kundi, 2016)

b. Gugus Fungsi

1. Metakaolin dan Geopolimer



Gambar 2 Spektogram FTIR Metakaolin dan Geopolimer

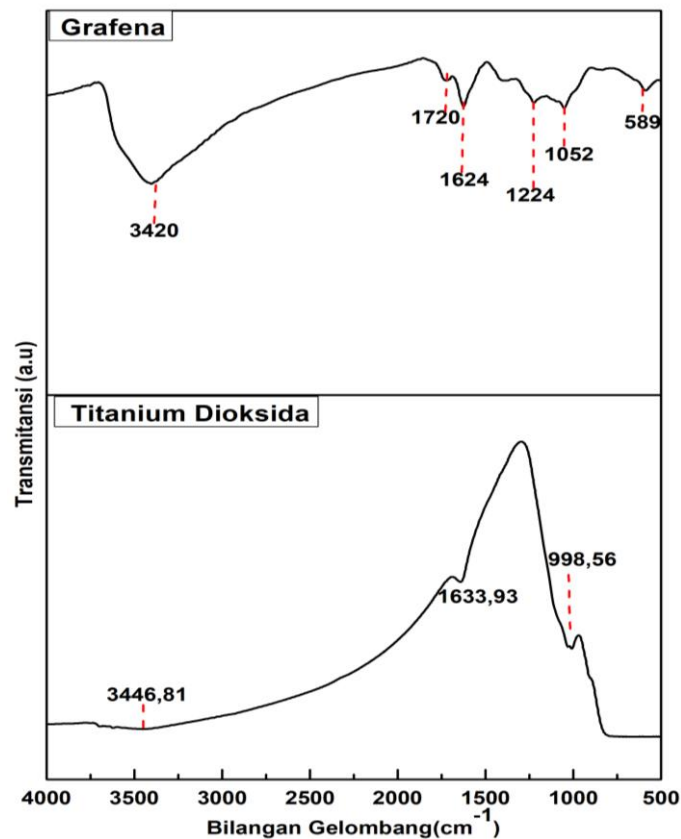
Gambar 4.3 menunjukkan spektrum FTIR metakaolin dan geopolimer yang memiliki hubungan antara transmitansi dan bilangan gelombang, untuk jenis ikatan gugus fungsi yang terbentuk dapat di lihat pada Tabel 4.1.

Tabel 1 Jenis Ikatan Gugus Fungsi Metakaolin, dan Geopolimer

No	Sampel	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Jenis Ikatan (Gugus Fungsi)	Referensi
1.	Metakaolin	3695,50-1640,85 1092,66 914,91-693,79	O-H Si-O Si-O-Si	(Ayeni et al., 2021.), (Nmiri et al., 2016.), (Purbasari & Samadhi, 2021.),
2.	Geopolimer	1642-3695 1386 1015 915-538	O-H O-C-O Si-O-Si Si-O-Al	(Gao, et al., 2020) (An Nisa, et al., 2023) (Subaer, et al., 2021) (El Alouani, et al., 2019) (Merabtene et al., 2019)

Spektrum FTIR menunjukkan hubungan antara transmitansi dan bilangan gelombang dari sampel. gugus fungsi untuk bahan membrane terdapat puncak yang terbentuk pada kisaran panjang gelombang 2350 cm⁻¹ pada metakaolin, namun puncak tersebut hilang pada saat metakaolin dibuat geopolimer. Puncak pada metakaolin disebabkan oleh dehidroksilasi karena pemanasan pada metakaolin, dan puncak menghilang pada saat metakaolin dibuat menjadi geopolimer perubahan tersebut disebabkan oleh interaksi antara polimer yang terbentuk (Sunardi et al., 2011).

2. TiO₂ dan Grafena



Gambar 3 Spektogram FTIR TiO₂ dan Grafena

Untuk jenis ikatan gugus fungsi yang terbentuk dapat di lihat pada Tabel 4.5

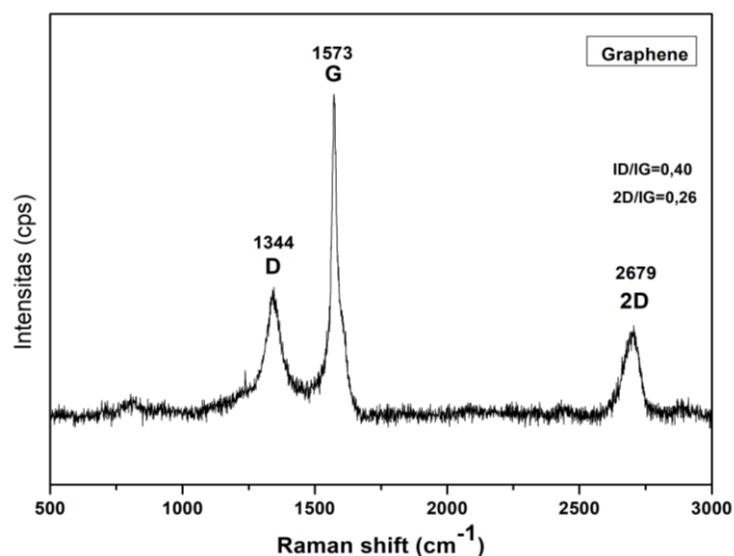
Tabel 2 Jenis Ikatan Gugus Fungsi Grafena dan TiO₂

No	Sampel	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Jenis Ikatan (Gugus Fungsi)	Referensi
1	(TiO ₂)	3446,81-1633,93 998,56-483,96	O-H Ti-O	(Guan et al., 2020), (Kundiman et al., 2023) (Ouda et al., 2018.), (Subaer et al., 2021)
1.	Grafena	3402 1720	O-H C=O	(Jaiswal et al., 2017) (Hadi et al., 2018)

		1624	C=C	(Wazir & Kundi, 2016)
		1224-1052	C-O	(Aziz et al., 2014)
		589	C-H	

Pada grafena terdapat puncak gugus fungsi karboksil dan alkoksi yang mengalami pelemahan. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Bai et al., 2014. Melemahnya gugus fungsi karboksil dan alkoksi melemah, disebabkan karena Grafena memiliki sedikit gugus fungsi oksigen. Gugus fungsi Ti-O pada panjang gelombang sekitar 998cm⁻¹ mengalami pergeseran pada saat TiO₂ ditambahkan kedalam geopolimer menjadi panjang gelombang 694 cm⁻¹ dan 539 cm⁻¹. Namun Panjang gelombang tersebut masih termasuk Ti-O, karena ikatan Ti-O berada pada rentang 998 cm⁻¹ - 483 cm⁻¹ (Kundiman et al., 2023 dan Ouda et al., 2018.).

c. Karakteristik grafena berdasarkan raman spectroscopy

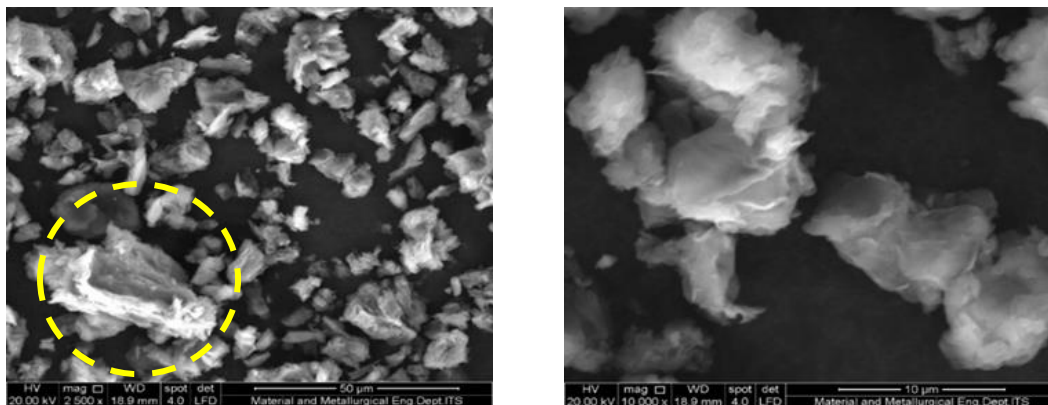


Gambar 4 Hasil Raman Spectroscopy Grafena

Hasil karakterisasi dan analisis spektroskopi raman grafena yang memiliki nilai pita D (1344), pita G (1573), 2D (2679), dan ID/IG=0,40, 2D/IG= 0,26. Pita D yang teramati pada 1344 cm⁻¹ berasal dari puncak getaran ketidakteraturan pada grafena, sementara pita G pada 1573 cm⁻¹ adalah hasil getaran peregangan Sp² bidang dari atom karbon C = C hybrid dalam

grafena. Hasil raman spectroscopy menunjukkan terbentuknya grafena dan hasil yang diperoleh sama dengan penelitian Saiful Badri et al., 2017. Hal ini ditandai dengan nilai ID/IG = 0,40 menunjukkan tingkat kecacatan struktur yang rendah dan I2D/IG = 0,26 menunjukkan grafena yang diperoleh bersifat multilayer karena puncak 2D yang terbentuk lemah dan lebih lebar dari pita G (*Srivestava dan Adesina, 2022*).

d. Struktur Morfologi Grafena

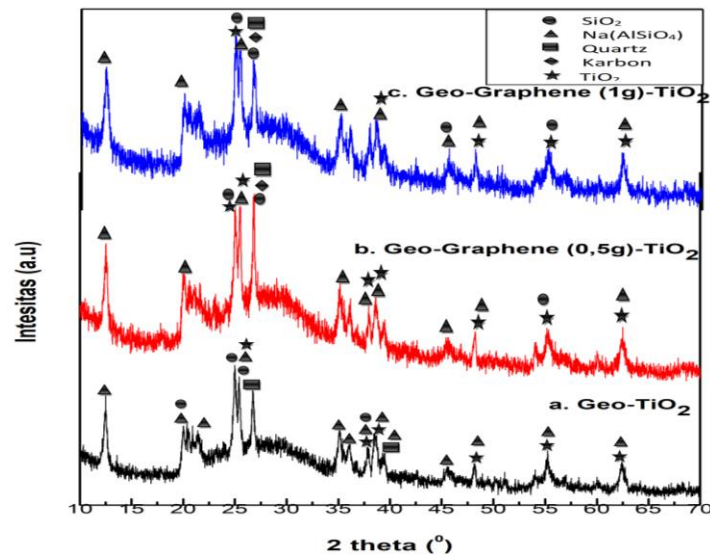


Gambar 5 Struktur Morfologi Grafena dengan Perbesaran (a) 2500x, (b) 10000x

Citra morfologi dari grafena dengan perbesaran 2500x dan 10000x. Dari hasil SEM yang diperoleh sesuai dengan hasil raman bahwa grafena yang diperoleh tersusun dari banyak lapisan atau bersifat multilayer, dapat dilihat bahwa terdapat beberapa tumpukan tebal. Terbentuknya lembaran-lembaran tipis yang menyerupai kertas bertumpuk satu sama lain dengan permukaan yang bergelombang memiliki lembaran yang kusut. Lembaran kusut menunjukkan hilangnya gugus fungsi oksigen akibat proses eksfoliasi atau pengelupasan pada struktur grafena (*Khenfouch et al., 2014, dan Aziz & Jaafar, 2015*) Hasil yang diperoleh sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh *Sari et al., 2022*, yang mengindikasikan bahwa grafena tersusun atas lembaran-lembaran tipis.

2. Membran berbasis Geo-Grafena-TiO₂

a. Struktur Kristal



Gambar 6 Difraktogram Geo-TiO₂, Geo-Grafena-TiO₂(0,5 g), Geo-Grafena-TiO₂(1 g)

Tabel 3 Fase kristalin Geo- TiO₂

Phase Name	Formula	2 θ (°)	Content (%)
TiO ₂	O _{8.00} Ti _{4.00}	38.5389	19
Sodium Aluminum Silicate	Na (AlSiO ₄)	12.5034	37
Quartz low	Si ₃ O ₆	26.7570	18
Silicon Oxide	SiO ₂	24.9800	27

Tabel 4 Fase kristalin Geo-Grafena-TiO₂ (0,5 g)

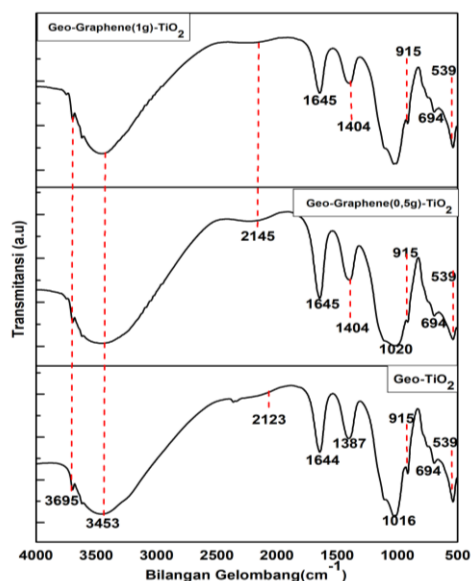
Phase Name	Formula	2 θ (°)	Content (%)
Titanium Oxide	TiO ₂	38.6107	12
Silicon Oxide	SiO ₂	25.0415	29
Quartz	Si _{6.00} O _{6.00}	26.8399	25
Sodium Aluminum Silicate	Na (AlSiO ₄)	12.5471	29
Carbon	C	26.8399	4

Tabel 5 Fase Kristalin Geo-Grafena-TiO₂ (1 g)

Phase Name	Formula	2 θ (°)	Content (%)
Silicon Oxide	SiO ₂	25.4108	18
Quartz	Si _{6.00} O _{6.00}	26.7019	7
Sodium Aluminum Silicate	Na (AlSiO ₄)	12.4135	27
Carbon	C	26.7019	15
TiO ₂	O _{16.00} O _{8.00}	38.5673	33

Membran berbasis Geo-Grafena-TiO₂ memiliki struktur amorf dengan beberapa fase kristal, puncak yang dihasilkan dari difraktogram mengalami sedikit pergeseran ke arah 2θ yang lebih rendah seiring dengan ditambahkannya grafena ke dalam sampel. Dari hasil difraktogram dapat dilihat bahwa puncak didominasi dengan Na(AlSiO₄), yang dapat dilihat pada (a) GeO-TiO₂ yang memiliki presentase sebesar 37%. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh *Subaer, et al., 2021*, bahwa hasil dari difraktogram mengalami pergeseran puncak ke arah 2θ yang lebih kecil karena terkait dengan susunan dari jaringan aluminosilikat dari geopolimer. Pada semua sampel terdapat Na(AlSiO₄) dengan membentuk fase kristal yang tinggi pada permukaan sampel, hal ini dipicu dengan kehadiran TiO₂ dan grafena yang tinggi.

b. Gugus Fungsi



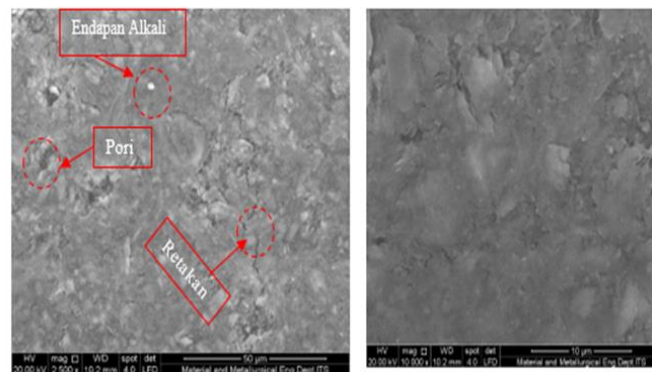
Gambar 7 Spektogram FTIR (a) Geo-TiO₂, (b) Geo-Grafena-TiO₂ (0,5 g), (c) Geo-Grafena-TiO₂ (1 g).

Tabel 6 Jenis Ikatan Gugus Fungsi (a) Geo-TiO₂, (b) Geo-Grafena (0,5g)-TiO₂(c) Geo-Grafena (1gr)-TiO₂

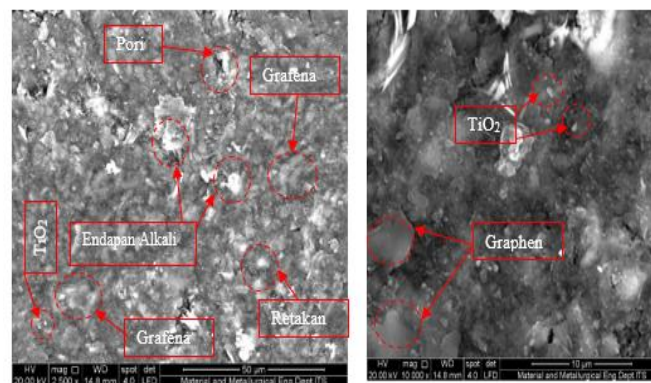
No	Sampel	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Jenis Ikatan (Gugus Fungsi)	Referensi
1.	Geo-TiO ₂	1642-3695	O-H	(Gao, et al., 2020)
		1387	O-C-O	(An Nisa, et al., 2023)
		1016	Si-O-Si	(Merabtene et al.,
		915	Si-O-Al	2019)
		694 dan 539	Ti-O-Ti	(Ii et al., 2022)
				(El Alouani, et al.,
				2019)
				(Desi Heltina et al.,
				2021)
2.	Geo-Grafena-TiO ₂	1645, 3453, dan 3695	O-H	(Desi Heltina et al.,
		2145	C-O	2021)
		1404	C-H	(Gao, et al., 2020)
		1020 dan 915	Si-O-Si	(Khan et al., 2016)
		694 dan 539	Ti-O-Ti	(Bokare et al., 2021)
			dan Ti-O	

Ikatan O-H pada panjang gelombang 1644 berubah menjadi ikatan C=C karena adanya interaksi antar gugus fungsi geopolimer, grafena, dan TiO₂. Hal ini terjadi karena graphene dapat melemahkan atau menghilangkan gugus fungsi (C. Liu et al., 2020). Melemahnya atau menghilangnya gugus fungsi disebabkan oleh adanya interaksi antara Geo-Grafena- TiO₂. Serta munculnya gugus fungsi Ti-O, Si-O-Si dan C=C menunjukkan berhasilnya sintesis Geo-Grafena- TiO₂.

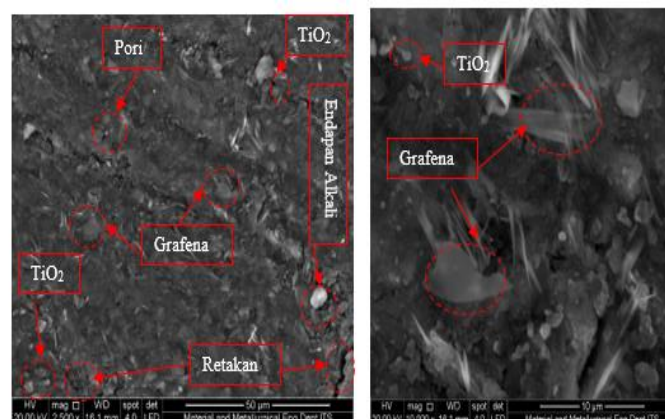
3. Struktur Morfologi



(a)



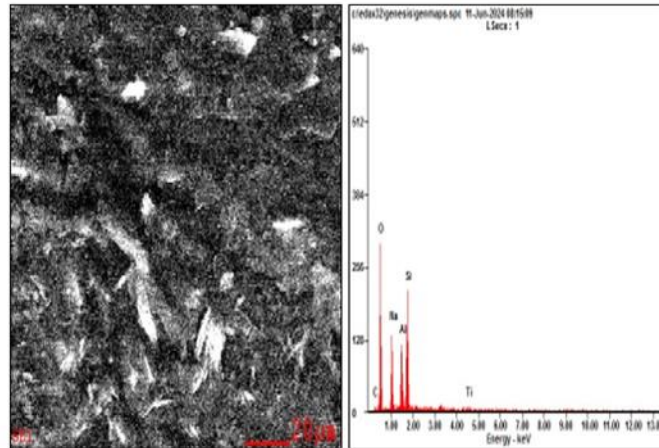
(b)



(c)

Gambar 8 berikut adalah Struktur Morfologi (a)Geo-TiO₂, (b)Geo-Grafena (0,5gr)-TiO₂, (c)Geo-Grafena (1gr)-TiO₂ yang diambil pada perbesaran 2500x dan 10000x

Distribusi komponen unsur permukaan sampel komposit Geo-Grafena- TiO_2 diwakili oleh sampel berlabel Geo-Grafena- TiO_2 (1 g).



Gambar 9 berikut adalah hasil karaktersasi SEM-EDS yang diambil pada perbesaran **5000x**

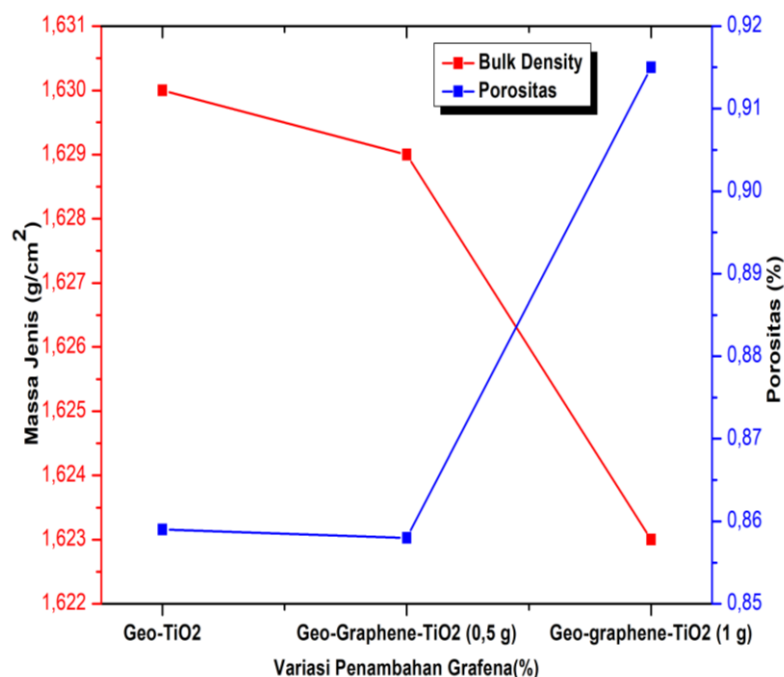
Hasil SEM menunjukkan adanya retakan, pori, dan endapan alkali pada ketiga sampel. Retakan yang timbul pada sampel bisa karena geopolymer mengalami penyusutan selama proses pengerasan atau pemadatan sampel (*Provis, J. L., et al. 2009*). Ketiga variasi menunjukkan TiO_2 terdistribusi pada Geopolimer-Grafena- TiO_2 yang ditandai dengan geopolimer yang lebih padat dan halus serta penambahan TiO_2 dapat mengurangi pori dari geopolimer (*Sanalkumar & Yang, 2021*). SEM-EDS bahwa terdapat beberapa elemen yang tersebar pada sampel Geo-Grafena- TiO_2 yaitu C, Na, O, Si, Al, dan Ti. Unsur Karbon (C) sebanyak 2.06 wt% menandakan kehadiran grafena dalam sampel geopolimer, hal ini dikonfirmasi dari citra SEM yang menampilkan bahwa adanya bagian atau partikel berwarna hitam tipis yang diindikasi sebagai grafena.

d. Sifat Fisis Rapat Massa (Bulk Density) dan Porositas

Tabel 4.7 Hasil Pengukuran Bulk Density dan Porositas Sampel Membran Berbasis Geopolimer-Grafena- TiO_2 , Dengan Variasi Penambahan Grafena

Kode	Bulk Density (g/cm^3)	Porositas (%)
Geo- TiO_2	$ 1,763 \pm 0,059 $	$ 19,296 \pm 4,233 $

Geo-grafena(0,2wt% atau 0,5 gram)- TiO ₂	1,680 ± 0,133	20,042 ± 2,292
Geo-grafena(0,5wt% atau 1 gram)- TiO ₂	1,662 ± 0,245	21,024 ± 4,389



Gambar 10 Grafik Hubungan antara Variasi Penambahan Grafena Terhadap Rapat Massa (Bulk Density) dan Porositas

Sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh *Zhang et al., 2021* bahwa dengan meningkatnya porositas maka nilai massa jenisnya akan menurun. Meningkatnya porositas bisa diakibatkan karena bahan yang digunakan dalam pembuatan membrane terdistribusi secara acak, dan bisa disebabkan akibat penambahan graphene. Menurut *Stankovich et al., 2006* bahwa semakin banyak penambahan graphene maka akan semakin memperbesar pori dan meningkatkan porositas karena volume porinya meningkat, sementara untuk rapat massanya tetap menurun.

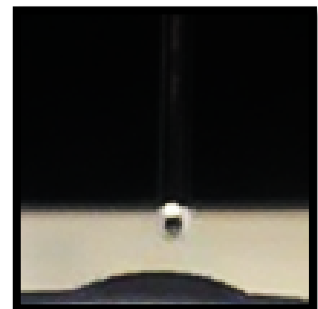
e. Sifat Hidrofobik atau Hidrofilik Sampel

Tabel 4.8 Hasil percobaan sudut kontak

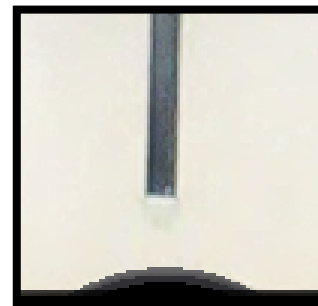
Percobaan	θ	Rata-Rata
1	24,553	
2	21,261	19,880
3	13,825	



Percobaan	θ	Rata-Rata
1	27,267	
2	22,404	24,644
3	24,261	



Percobaan	θ	Rata-rata
1	30,045	
2	32,024	31,422
3	32,198	



Grafik hasil pengujian sudut kontak yang dimana sudut kontak mengalami peningkatan. *Ranjbar et al., 2015* mengatakan bahwa menambahkan grafena kedalam geopolimer dapat meningkatkan sudut kontak sehingga membuat geopolimer menjadi hidrofobik dan tahan terhadap air. Namun penambahan grafena pada penelitian yang dilakukan belum membuat membrane memiliki sifat hidrofobik yang kuat walaupun mengalami peningkatan nilai sudut kontak seiring dengan penambahan graphene, hal ini ditunjukkan dari nilai sudut kontak yang masih berada dibawah 90° , menurut *Wardani & Zainuri, 2019*.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Pembuatan membran berbasis Geo-Grafena-TiO₂ dilakukan dengan pertama mensintesis grafena, mensintesis geopolimer dengan larutan alkali setelah itu menambahkan grafena dan TiO₂ kedalam pasta geopolimer. Berdasarkan hasil Difraktogramnya Sampel membran berbasis Geo-Grafena-TiO₂ puncak yang dihasilkan mengalami sedikit pergeseran ke arah 2θ yang lebih rendah seiring dengan ditamhkannya grafena. Dari hasil FTIR sampel Geo-Grafena-TiO₂ terdiri atas gugus fungsi O-H, C-O, C-H, Ti-O-Ti, Si-O-Al, dan Si-O-Si. Berdasarkan Citra SEM TiO₂ terdistribusi dalam geopolimer, dan adanya grafena berbentuk lapisan tipis serta hasil SEM-EDS terdapat beberapa elemen yang tersebar pada sampel Geo-grafena -TiO₂ yaitu C, Na, O, Si, Al, dan Ti. Unsur Karbon (C) sebanyak 2.06 wt% menandakan kehadiran grafena. Semakin meningkat porositas maka rapat massa semakin menurun, sampel membran Geo-Grafena-TiO₂ mengalami kenaikan sudut kontak seiring penambahan grafena namun masih tergolong sifat hidrofilik karena sudut kontak yang dihasilkan masih kurang dari 90°. Berdasarkan struktur kristal, struktur mikro, porositas dan sudut kontak menunjukkan variasi penambahan 1gram grafena memiliki kualitas yang baik dari variasi lain sebagai membran.

DAFTAR PUSTAKA

- Almutairi, A. L., Tayeh, B. A., Adesina, A., Isleem, H. F., & Zeyad, A. M. (2021). Potential applications of geopolimer concrete in construction: A review. *Case Studies in Construction Materials*, 15, e00733.
- Akifah, N. (2017). *Mekanik Dan Karakteristik Mikro Komposit Geopolimer*.
- Aziz, M., & Jaafar, J. (2015). *Preparation and Characterization of Graphene Membrane Electrode Assembly Jurnal Teknologi Full paper Preparation and Characterization of Graphene Membrane Electrode Assembly. August 2014, 10–14.*
<https://doi.org/10.11113/jt.v69.3388>
- Caroline, J., Putra, K. H., & Tavares, M. E. D. C. (2017). Pengolahan Air Laut Dengan Menggunakan Karbon Aktif Dari Akar Mangrove. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan V*.
- Djana, M., & Mayasari, R. (2017). *ANALISIS PENGENDALIAN KUALITAS MEMBRAN DALAM PERVAPORASI ETANOL-AIR DENGAN MENGGUNAKAN METODE STATISTICAL QUALITY CONTROL*. 4(2).

- Fatmawati, D., & Aritonang, A. B. (2019). SINTESIS DAN KARAKTERISASI TiO₂-KAOLIN MENGGUNAKAN METODE SOL GEL. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 8(2), 15–21. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jkkmipa/article/view/36559>
- Khenfouch, M., Buttner, U., Baïtoul, M., & Maaza, M. (2014). *Synthesis and Characterization of Mass Produced High Quality Few Layered Graphene Sheets via a Chemical Method. January 2015*. <https://doi.org/10.4236/graphene.2014.32002>
- Kundiman, N., Kurnia, K., Indrayana, I. P. T., & Sadjab, B. A. (2023). Pengaruh Variasi Suhu Kalsinasi Terhadap Parameter Mikrostruktur (Struktur Kristal Dan Gugus Fungsi) Nanopartikel TiO₂ Sebagai Kandidat Material Fotokatalisis. *Journal Online of Physics*, 8(3), 14–20. <https://doi.org/10.22437/jop.v8i3.26814>
- Liu, C., Lin, Y., Dong, Y., Wu, Y., Bao, Y., Yan, H., & Ma, J. (2020). Fabrication and investigation on Ag nanowires/ TiO₂ nanosheets/graphene hybrid nanocomposite and its water treatment performance. *Advanced Composites and Hybrid Materials*, 3(3), 402–414. <https://doi.org/10.1007/s42114-020-00164-2>
- Purbasari, A., & Samadhi, T. W. (2021). Kajian Dehidroksilasi Termal Kaolin menjadi Metakaolin menggunakan Analisis Termogravimetri. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 17(1), 105. <https://doi.org/10.20961/alchemy.17.1.47337.105-112>
- Ranjbar, N., Mehrli, M., Mehrli, M., Alengaram, U. J., & Jumaat, M. Z. (2015). Graphene nanoplatelet-fly ash based geopolymer composites. *Cement and Concrete Research*, 76, 222–231. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.06.003>
- Sanalkumar, K. U. A., & Yang, E. (2021). Self-cleaning performance of nano- TiO₂ modified metakaolin-based geopolymers. *Cement and Concrete Composites*, 115(June 2020), 103847. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103847>
- Sari, R., Mastura, C. D., Rihayat, T., Dewi, R., & Hakim, L. (2022). *Pembuatan Grafena dengan Metode Reduksi Graphene Oxide Menggunakan Bahan Baku Grafit dan Reduktor Natrium Hipopospit. VII(2)*, 3213–3220.
- Singh, N. B. (2018). Fly ash-based geopolymer binder: A future construction material. *Minerals*, 8(7). <https://doi.org/10.3390/min8070299>
- Stankovich, S., Dikin, D. A., Dommett, G. H. B., Kohlhaas, K. M., Zimney, E. J., Stach, E. A., Piner, R. D., Nguyen, S. B. T., & Ruoff, R. S. (2006). Graphene-based composite materials. *Nature*, 442(7100), 282–286. <https://doi.org/10.1038/nature04969>

-
- Subaer, S., Fansuri, H., Haris, A., Irfanita, R., Ramadhan, I., Putri, Y., & Setiawan, A. (2021). *Pervaporation Membranes for Seawater Desalination Based on Geo – rGO – TiO₂ Nanocomposites . Part 1 : Microstructure Properties.*
- Subaer, S., Fansuri, H., Haris, A., Misdayanti, M., Ramadhan, I., Wibawa, T., Putri, Y., Ismayanti, H., & Setiawan, A. (2022). *Pervaporation Membranes for Seawater Desalination Based on Geo – rGO – TiO₂ Nanocomposites : Part 2 — Membranes Performances. Md.*
- Sunardi, Irawati, U., & Wianto, T. (2011). Karakterisasi Kaolin Lokal Kalimantan Selatan Hasil Kalsinasi. *Jurnal Fisika FLUX*, 8(1), 59–65.
- Wardani, A. H., & Zainuri, M. (2019). Pengaruh Variasi Massa SiO₂ Terhadap Sudut Kontak dan Transparansi Pada Lapisan Hydrophobic. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 7(2). <https://doi.org/10.12962/j23373520.v7i2.34769>
- Wazir, A. H., & Kundi, I. W. (2016). Synthesis of graphene nano sheets by the rapid reduction of electrochemically exfoliated graphene oxide induced by microwaves. *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, 38(1), 11–16.
- Zhang, X., Bai, C., Qiao, Y., Wang, X., Jia, D., Li, H., & Colombo, P. (2021). Porous geopolymer composites: A review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 150(August), 106629. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2021.106629>.